

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-308130

(43)公開日 平成11年(1999)11月5日

(51)IntCl.⁶

識別記号

F I

H 0 4 B 1/10

H 0 4 B 1/10

W

H 0 1 Q 3/26

H 0 1 Q 3/26

Z

C

25/00

25/00

審査請求 未請求 請求項の数6 O L (全 20 頁)

(21)出願番号 特願平10-107315

(22)出願日 平成10年(1998)4月17日

(71)出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72)発明者 関口 高志

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内

(72)発明者 桐本 哲郎

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内

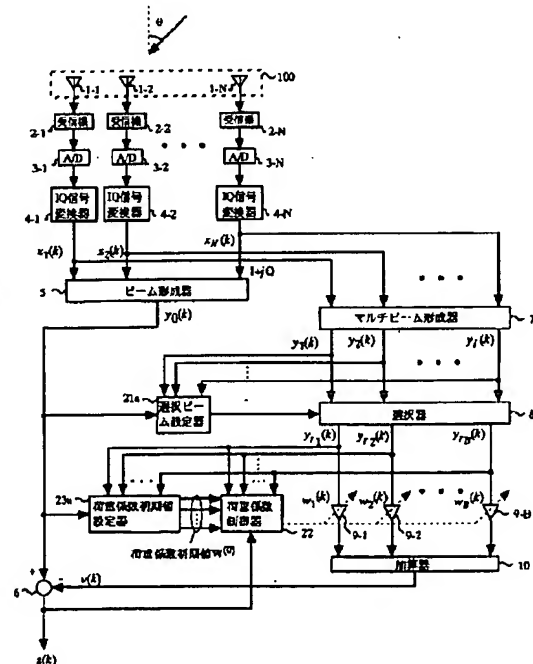
(74)代理人 弁理士 宮田 金雄 (外2名)

(54)【発明の名称】 干渉波抑圧装置

(57)【要約】

【課題】 短時間に干渉波抑圧できる特性を得る干渉波抑圧装置を提供する。

【解決手段】 アレーアンテナ100で受信した信号を、所定方向にビームを形成するビーム形成器5と、補助ビームとして所定の複数の方向にビームを形成するマルチビーム形成器7に入力し、それらからの出力信号に基づいて、入射する干渉波と同数の適切なビーム方向の補助ビームを設定する。そして、受信干渉信号を抑圧する適応アルゴリズムで荷重係数を制御する前に、その初期値を設定しておく。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 所定の配置形状で近接して配置された複数個のアンテナ素子からなるアレーアンテナへの入射信号波に対する干渉波を抑圧する干渉波抑圧装置において、

前記入射信号波を複数のデジタル同相・直交信号に変換する手段と、

前記複数のデジタル同相・直交信号より、所定方向にビームを形成し、そのビームに対応する第1の信号を出力する手段と、

前記複数のデジタル同相・直交信号より、同時に複数の異なる方向にマルチビームを形成し、このマルチビームに対応する複数の第2の信号を出力する手段と、

前記第1の信号と前記複数の第2の信号に基づき、これら複数の第2の信号より所定数の信号を選択する選択手段と、

前記選択された信号各々に所定の荷重係数を乗算する手段と、

前記荷重係数の乗算された信号を加算して第3の信号を出力する手段と、

前記第1の信号から前記第3の信号を減算して第4の信号を出力する手段とを備え、

前記荷重係数は、その初期値が、前記選択された所定数の信号と前記第1の信号とに基づいて設定され、また、この荷重係数は、前記初期値と、前記選択された所定数の信号と、前記第4の信号とに基づいて、この第4の信号の電力が最小となるように所定の適応アルゴリズムにより制御され、この第4の信号が前記干渉波の抑圧された信号として出力されることを特徴とする干渉波抑圧装置。

【請求項2】 さらに、前記第1の信号および前記複数の第2の信号をもとに前記干渉波の数を特定する手段を備え、

前記選択手段は、前記干渉波の数と同数あるいはそれ以上の数の信号を、前記複数の第2の信号より選択することを特徴とする請求項1記載の干渉波抑圧装置。

【請求項3】 前記荷重係数の初期値は、最初に受信した所定数の信号サンプルについての、前記第1の信号と前記選択された所定数の信号とに基づく連立方程式の解をもとに設定され、前記適応アルゴリズムは、この設定された初期値に基づいて前記荷重係数を更新するアルゴリズムであることを特徴とする請求項1記載の干渉波抑圧装置。

【請求項4】 さらに、前記複数の第2の信号からなる所定の行列の特異値分解を行う手段を備え、その特異値の数を前記干渉波の数とすることを特徴とする請求項3記載の干渉波抑圧装置。

【請求項5】 前記荷重係数の初期値は、最初に受信した所定数の信号サンプルについての、前記第1の信号と前記選択された所定数の信号とに基づく連立方程式の解

をもとに設定され、前記適応アルゴリズムは、この設定された初期値に基づいて前記荷重係数を更新するとともに、この荷重係数の初期値ベクトルのノルムが最小となるように前記初期値を設定するアルゴリズムであることを特徴とする請求項1記載の干渉波抑圧装置。

【請求項6】 所定の配置形状で近接して配置された複数個のアンテナ素子からなるアレーアンテナへの入射信号波に対する干渉波を抑圧する干渉波抑圧装置において、

10 前記入射信号波を複数のデジタル同相・直交信号に変換する手段と、

前記複数のデジタル同相・直交信号より、所定方向にビームを形成し、そのビームに対応する第1の信号を出力する手段と、

前記複数のデジタル同相・直交信号の全て、あるいは一部を用いて、干渉波の数とその入射方向を推定する手段と、

前記推定された入射方向各々に対してビームを形成し、これらのビームに対応する、これらビームと同数の第5の信号を出力する手段と、

20 前記第5の信号各々に所定の荷重係数を乗算する手段と、

前記荷重係数の乗算された信号を加算して第3の信号を出力する手段と、

前記第1の信号から前記第3の信号を減算して第4の信号を出力する手段とを備え、

前記荷重係数は、前記第4の信号と第5の信号とに基づいて、この第4の信号の電力が最小となるように所定の適応アルゴリズムにより制御され、この荷重係数の初期値は、最初に受信した所定数の信号サンプルについて

30 の、前記第1の信号と第5の信号とに基づく連立方程式の解をもとに設定され、前記適応アルゴリズムは、この設定された初期値に基づいて前記荷重係数を更新するとともに、この荷重係数の初期値ベクトルのノルムが最小となるように前記初期値を設定するアルゴリズムであることを特徴とする干渉波抑圧装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、干渉波抑圧装置に関し、特に、アンテナのサイドローブから入射する干渉波を抑圧する干渉波抑圧装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】アダプティブ・アレー・アンテナは、干渉波の到来方向に零点を向けるため、所望信号の受信に支障となる干渉信号を除去するのに有効である。このアダプティブ・アレー・アンテナに用いる適応アルゴリズムには、信号処理演算量が少なく、また、荷重係数ができるだけ速く最適値に収束することが望まれる。

【0003】このような目的のため、例えば、原沢、桐本は、「ビーム空間ANBFの荷重初期値調整による収

束速度の高速化」(1997年、電子情報通信学会サイエティ大会B-2-18(これを以降、文献1と呼ぶ))において、適応アルゴリズム、特にLMS(Least Mean Squares)アルゴリズムに代表されるような、最急降下アルゴリズムにおける荷重係数初期値をできるだけ最適値に近い値に設定することを提案している。

【0004】図11は、上記の文献1に開示された、アダプティブ・アレー・アンテナを含む従来の干渉波抑圧装置の構成を示すブロック図である。そこで、図11を参照して、従来の干渉波抑圧装置について、その構成と動作を説明する。

【0005】図11において、アレーアンテナ100は、互いに近接して配置された複数(N)個の素子アンテナ1-1, 1-2, ..., 1-Nからなる。ここでは、これらは等間隔、一直線状に配置されているものとする。これらの素子アンテナ1-1, 1-2, ..., 1-Nで受信されたRF(Radio Frequency)信号(所望信号と、それとは異なる方向から入射する干渉信号とが混在した信号)は、それぞれ、受信機2-1, 2-2, ..., 2-Nで増幅並びに周波数変換され、A/D変換器3-1, 3-2, ..., 3-Nにおいて、デジタルIF(Intermediate Frequency)信号に変換される。

【0006】上記のデジタルIF信号は、I/Q信号変換器4-1, 4-2, ..., 4-Nで、ベースバンド・デジタル同相・直交信号 $x_1(k)$, $x_2(k)$, ..., $x_N(k)$ に変換される。なお、ここでは、 $x_1(k)$, $x_2(k)$, ..., $x_N(k)$ は、受信RF信号の同相成分を実部、直交信号を虚部とする複素信号として扱う。また、干渉信号は、所望信号と無相関であるとする。

【0007】上記ベースバンド・デジタル同相・直交信号 $x_1(k)$, $x_2(k)$, ..., $x_N(k)$ は、ビーム形成器5に入力される。このビーム形成器5は、目標方向にビームを形成するもので、その方向は既知とする。また、ビーム形成器5には、受信した所望信号とともに、同時に受信した干渉信号も入力される。そして、干渉信号の電力が、所望信号の電力に比べて非常に大きい場合には、ビーム形成器5の形成する指向特性のサイドローブ方向から入射した干渉波信号の漏れ込みが大きく、その結果、ビーム形成器5の出力信号 $y_0(k)$ には、所望信号だけではなく、ビーム形成器5だけでは抑圧しきれなかった干渉信号成分も含まれることになる。

【0008】減算器6は、上記のビーム形成器5の出力信号 $y_0(k)$ より、消え残った干渉信号を推定した信号 $v(k)$ を差し引くことにより、干渉信号成分が抑圧された信号 $z(k)$ を出力する。

【0009】次に、ビーム形成器5の出力信号 $y_0(k)$ 中の消え残った干渉信号を推定する方法を説明する。上述したベースバンド・デジタル同相・直交信

号 $x_1(k)$, $x_2(k)$, ..., $x_N(k)$ は、同時に複数(N)の異なる方向にマルチビーム形成を行う高速フーリエ変換器(FFT)11に入力される。このマルチビームは、サイドローブ・キャンセラにおける補助ビームである。そして、選択器8では、高速フーリエ変換器11の複数(N)個の出力信号 $y_1(k)$, $y_2(k)$, ..., $y_N(k)$ の内、電力の大きいB個、あるいは、ある閾値電力を越えたB個を選択する。これは、複数(N)の異なる方向に形成されたマルチビームから、B個のビームを選択することに相当する。

【0010】このようにして選択された信号 $y_{r1}(k)$, $y_{r2}(k)$, ..., $y_{rB}(k)$ には、多くの干渉信号成分が、何らかの形で含まれている。これら選択された信号は、乗算器9-1, 9-2, ..., 9-Bで重み付けした後、加算器10で加算され、その加算結果を、ビーム形成器5の出力信号 $y_0(k)$ に含まれる干渉信号の、消え残りを推定した信号 $v(k)$ として出力する。乗算器9-1, 9-2, ..., 9-Bの荷重係数 $w_1(k)$, $w_2(k)$, ..., $w_B(k)$ は、選択器8の出力信号 $y_{r1}(k)$, $y_{r2}(k)$, ..., $y_{rB}(k)$ 、および、アダプティブ・アレー・アンテナ出力信号 $z(k)$ に基づき、アダプティブ・アレー・アンテナ出力信号 $z(k)$ の電力をできるだけ小さくするように、荷重係数制御器22によって制御される。その結果、ビーム形成器5の出力信号 $y_0(k)$ に含まれる干渉信号の消え残りの推定が行われる。

【0011】上記の文献1に記載された荷重係数 $w_1(k)$, $w_2(k)$, ..., $w_B(k)$ の制御は、学習同定法によっており、その荷重係数の更新式を、数1に示す。ここで肩文字*は、スカラの複素共役、もしくは行列・ベクトルの各要素の複素共役をとることを意味する。

【0012】

【数1】

$$W^{(k+1)} = W^{(k)} + \alpha z(k) \frac{Y^*(k)}{\|Y(k)\|^2}$$

【0013】この数1において、 α はステップサイズ・パラメータであり、ベクトル $W^{(k)}$, $Y(k)$ は、以下の数2, 数3に示すベクトルである。なお、ここで肩文字Tは、行列とベクトルの転置を表す。なお、他の適応アルゴリズムも適用可能である。

【0014】

【数2】

$$W^{(k)} = [w_1^{(k)}, w_2^{(k)}, \dots, w_B^{(k)}]^T$$

【0015】

【数3】

$$Y(k) = [y_{r1}(k), y_{r2}(k), \dots, y_{rB}(k)]^T$$

【0016】図11に示すように、荷重係数初期値設定器24で設定された荷重係数初期値ベクトル $W^{(0)}$ は、荷重係数制御器22に送られる。荷重係数初期値設定器24では、複数の干渉波が到来したとき、それらが補助ビーム幅以上に離れていて、かつ、補助ビームのサイドローブ・レベルが十分低い、という仮定の下で選択された補助ビームの指向方向を干渉波の到来方向とする。そして、その方向から干渉波が1波到来したと仮定したときの最適値を計算し、それを荷重係数の初期値とする。この処理を、選択した補助ビーム数分、繰り返す。

【0017】図11に示す従来の干渉波抑圧装置では、上記の荷重係数初期値ベクトル $W^{(0)}$ を、数1の荷重更新式に用いることにより、収束に達するまでの時間を短縮している。なお、ここでは、1つの補助ビームには、1波しか入射しないことを前提としている。

【0018】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記従来のアダプティブ・アレー・アンテナを含む干渉波抑圧装置では、2つの干渉波が近接して到来した場合や、受信干渉波数よりも補助ビーム選択数が多い場合、あるいは、アンテナアレー素子数 N が少なく、補助ビーム幅が広い場合などは、上述の前提条件が成立しない。その結果、初期値設定の効果がなくなり、収束に達するまでの時間を短縮することができない、という問題が発生する。

【0019】本発明は、上述の課題に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、受信干渉波数と同数の補助ビームを選択して、2つ以上の干渉波が近接して到来した場合や、アンテナアレー素子数が少なく、補助ビーム幅が広い場合にも適用できる補助ビーム選択、および初期値設定を行える干渉波抑圧装置を提供することである。

【0020】本発明の他の目的は、受信干渉波数と同数以上の補助ビームを選択することで、2つ以上の干渉波が近接して到来した場合や、アンテナアレー素子数が少なく、補助ビーム幅が広い場合にも適用できる補助ビーム選択、および初期値設定が行える干渉波抑圧装置を提供することである。

【0021】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するため、本発明は、所定の配置形状で近接して配置された複数のアンテナ素子からなるアレーアンテナへの入射信号波に対する干渉波を抑圧する干渉波抑圧装置において、上記入射信号波を複数のデジタル同相・直交信号に変換する手段と、上記複数のデジタル同相・直交信号より、所定方向にビームを形成し、そのビームに対応する第1の信号を出力する手段と、上記複数のデジタル同相・直交信号より、同時に複数の異なる方向にマルチビームを形成し、このマルチビームに対応する複数の第2の信号を出力する手段と、上記第1の信号と上記複

数の第2の信号に基づき、これら複数の第2の信号より所定数の信号を選択する選択手段と、上記選択された信号各々に所定の荷重係数を乗算する手段と、上記荷重係数の乗算された信号を加算して第3の信号を出力する手段と、上記第1の信号から上記第3の信号を減算して第4の信号を出力する手段とを備え、上記荷重係数は、その初期値が、上記選択された所定数の信号と上記第1の信号とに基づいて設定され、また、この荷重係数は、上記初期値と、上記選択された所定数の信号と、上記第4の信号とに基づいて、この第4の信号の電力が最小となるように所定の適応アルゴリズムにより制御され、この第4の信号が上記干渉波の抑圧された信号として出力される干渉波抑圧装置を提供する。

【0022】好ましくは、本発明はさらに、上記第1の信号および複数の第2の信号をもとに上記干渉波の数を特定する手段を備え、上記選択手段は、上記干渉波の数と同数あるいはそれ以上の数の信号を、上記複数の第2の信号より選択する。

【0023】好ましくは、上記荷重係数の初期値は、最初に受信した所定数の信号サンプルについての、上記第1の信号と上記選択された所定数の信号とに基づく連立方程式の解をもとに設定され、上記適応アルゴリズムは、この設定された初期値に基づいて上記荷重係数を更新するアルゴリズムである。

【0024】また、好ましくは、本発明はさらに、上記複数の第2の信号からなる所定の行列の特異値分解を行う手段を備え、その特異値の数を上記干渉波の数とする。また、上記荷重係数の初期値は、最初に受信した所定数の信号サンプルについての、上記第1の信号と上記選択された所定数の信号とに基づく連立方程式の解をもとに設定され、上記適応アルゴリズムは、この設定された初期値に基づいて上記荷重係数を更新するとともに、この荷重係数の初期値ベクトルのノルムが最小となるように上記初期値を設定するアルゴリズムである。

【0025】好ましくは、本発明は、所定の配置形状で近接して配置された複数のアンテナ素子からなるアレーアンテナへの入射信号波に対する干渉波を抑圧する干渉波抑圧装置において、上記入射信号波を複数のデジタル同相・直交信号に変換する手段と、上記複数のデジタル同相・直交信号より、所定方向にビームを形成し、そのビームに対応する第1の信号を出力する手段と、上記複数のデジタル同相・直交信号の全て、あるいは一部を用いて、干渉波の数とその入射方向を推定する手段と、上記推定された入射方向各々に対してビームを形成し、これらのビームに対応する、これらビームと同数の第5の信号を出力する手段と、上記第5の信号各々に所定の荷重係数を乗算する手段と、上記荷重係数の乗算された信号を加算して第3の信号を出力する手段と、上記第1の信号から上記第3の信号を減算して第4の信号を出力する手段とを備え、上記荷重係数は、上記

第4の信号と第5の信号とに基づいて、この第4の信号の電力が最小となるように所定の適応アルゴリズムにより制御され、この荷重係数の初期値は、最初に受信した所定数の信号サンプルについての、上記第1の信号と第5の信号とに基づく連立方程式の解をもとに設定され、上記適応アルゴリズムは、この設定された初期値に基づいて上記荷重係数を更新するとともに、この荷重係数の初期値ベクトルのノルムが最小となるように上記初期値を設定するアルゴリズムである干渉波抑圧装置を提供する。

【0026】

【発明の実施の形態】以下、添付図面を参照して、本発明に係る実施の形態を説明する。

実施の形態1. 図1は、本発明の実施の形態1に係る干渉波抑圧装置の構成を示すブロック図である。なお、図1に示す装置において、図11に示す従来の干渉波抑圧装置と同一構成要素には、同一符号を付し、ここでは、それらの説明を省略する。ただし、本実施の形態に係る装置では、アンテナ素子の配置は、必ずしも直線状でなくともよい。また、以降の説明において、特に断らない限り、 $n=1, 2, \dots, N$ であり、 $i=1, 2, \dots, I$ 、そして、 $b=1, 2, \dots, B$ であるとする。

【0027】図1に示す干渉波抑圧装置において、ベースバンド・デジタル同相・直交信号 $x_n(k)$ は、所望信号を抽出するためのビーム形成器5に入力され、また、同時に複数(I)の異なる方向にマルチビーム形成を行うマルチビーム形成器7にも入力される。なお、このマルチビームは、サイドローブ・キャンセラにおける補助ビームである。

【0028】マルチビーム形成器7の一例として、上述した高速フーリエ変換器があり、その場合、マルチビーム数 I は素子数 N と等しい。選択ビーム設定器21aは、マルチビーム形成器7の出力信号 $y_i(k)$ と、ビーム形成器5の出力信号 $y_0(k)$ とに基づいて、マルチビーム形成器7の出力信号 $y_1(k)$ 、 $y_2(k)$ 、 \dots 、 $y_I(k)$ の内、どの信号、言い換えると、マルチビーム形成器7で形成されたマルチビームの内、どの方向のビームを選択するかを定め、選択ビーム番号を選択器8に出力する。

【0029】選択器8は、上記の選択ビーム設定器21aで定められた方向のビーム、つまり、対応するマルチビーム出力信号を選択する。この選択数を B とする。なお、選択手順については後述するが、ここでは、選択器8で、干渉波数と等しい適切な方向の補助ビームを選択したものとして説明する。

【0030】選択器8で選択された信号を $y_{r1}(k)$ 、 $y_{r2}(k)$ 、 \dots 、 $y_{rB}(k)$ とする。すなわち、選択された信号(便宜上、 $y_{rb}(k)$ と表記する)は、乗算器9-b(信号 $y_{rb}(k)$ に対応する、乗算器9-1、9-2、 \dots 、9-Bの1つ)で重み付けした後、加算器10で

加算される。この加算器10は、ビーム形成器5の出力信号 $y_0(k)$ に含まれる干渉信号の消え残りを推定した信号 $v(k)$ を出力する。

【0031】上記の乗算器9-bの荷重係数 $w_b(k)$ は、選択器8の出力信号 $y_{rb}(k)$ 、および、アダプティブ・アレー・アンテナ出力信号 $z(k)$ に基づき、このアダプティブ・アレー・アンテナ出力信号 $z(k)$ の電力をできるだけ小さくするよう、荷重係数制御器22によって制御される。その結果、ビーム形成器5の出力信号 $y_0(k)$ に含まれる干渉信号の消え残りが推定される。そして、推定された干渉信号の消え残り $v(k)$ を、減算器6において、ビーム形成器5の出力信号 $y_0(k)$ から差し引くことで、干渉信号の抑圧を行う。

【0032】荷重係数制御器22による荷重係数の制御方法は、図11に示す従来の装置におけるそれと同様であるが、学習同定法以外の制御方法も適用可能である。しかし、荷重係数初期値 $w_b^{(0)}$ は、従来技術における荷重係数初期値とは異なる(つまり、本実施の形態に係る荷重係数初期値設定器23aは、図11に示す荷重係数初期値設定器24とは異なった方法で荷重係数初期値を設定する)。なお、ここでは、選択ビーム設定器21aにより、選択器8で干渉波数と等しい、適切な方向の補助ビームが選択できたものとして、荷重係数初期値設定器23aでの荷重係数初期値ベクトルの設定手順を説明する。

【0033】本実施の形態では、ビーム形成器5の出力信号 $y_0(k)$ と選択器8の出力信号 $y_{rb}(k)$ の、受信された最初のごく少数の信号サンプルを用いて相関行列を作り、そのまま正規方程式を解いて解を求めて、それを適応アルゴリズムの初期値ベクトルにする。つまり、最初の少数受信信号サンプルによるSMI(Sample Matrix Inversion)法によって、荷重係数初期値 $w_b^{(0)}$ を決める。ただし、ここでは、上記文献1の「1つの補助ビームには、1つの干渉波しか入射しない(1つの補助ビーム出力には、1つの干渉信号しか存在しない)」という仮定は不要である。つまり、干渉波が1波だけ入射したとして、荷重を求めない。従って、2波以上の干渉波が近接して入射しても、最適値に近い初期値を設定することが可能となる。

【0034】そこで、荷重初期値設定に用いる信号サンプル数を P とすると、荷重係数初期値ベクトル $W^{(0)}$ は、以下の式で求められる。なお、数5、数6において、 $[C]_{ij}$ は、行列 C の (i, j) 要素を、 $[r]_j$ は、ベクトル r の j 番目の要素を意味する。また、 $i, j=1, 2, \dots, B$ である。

【0035】

【数4】

$$W^{(0)} = C^{-1}r$$

【0036】

【数5】

$$[C]_{ij} = \sum_{k=0}^{P-1} y_{r_i}^*(k) y_{r_j}(k)$$

【0037】

【数6】

$$[r]_j = \sum_{k=0}^{P-1} y_{r_j}^*(k) y_0(k)$$

【0038】実際には、数値的に性質がよくないといわれている正規方程式を直接、解かずに、データ行列からQR分解によって解を求めるのが望ましい。そのために、ビーム形成器5の出力信号と選択器8の出力信号からなる、以下の行列Aとベクトルaを作る。

【0039】

【数7】

$$A = \begin{bmatrix} y_{r_1}(0) & y_{r_2}(0) & \cdots & y_{r_\beta}(0) \\ y_{r_1}(1) & y_{r_2}(1) & \cdots & y_{r_\beta}(1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{r_1}(P-1) & y_{r_2}(P-1) & \cdots & y_{r_\beta}(P-1) \end{bmatrix}$$

【0040】

【数8】

$$a = [y_0(0), y_0(1), \dots, y_0(P-1)]^T$$

【0041】次に、行列Aを、数9のようにQR分解する。

【0042】

【数9】

$$A=QR$$

【0043】ここで、Qは、列が正規直交系をなす $P \times B$ 行列、Rは、 $B \times B$ の右上三角行列である。これらQ、Rを使うと、正規方程式は、以下の数10のようになる。Rが右上三角行列であることより、数10は、後退代入だけで解ける。この数10では、肩文字Hは、行列・ベクトルの共役転置を意味する。

【0044】

【数10】

$$RW^{(0)} = Q^H a$$

【0045】このようにして求められた荷重係数初期値ベクトル $W^{(0)}$ は、荷重係数制御器22に送られ、それに基づいた荷重係数の更新が開始される。このようにして荷重係数初期値 $w_b^{(0)}$ を設定すれば、上記文献1の荷重係数初期値の設定法に比べると、ほぼ全ての場合に初期値設定の効果がある。つまり、ほとんど全ての場合に、短時間で収束する。

【0046】次に、選択ビーム設定器21aの動作、つまり、選択器8における信号の選択（補助ビームの選択

10

手順）について説明する。図2、図3は、選択ビーム設定器21aによる、選択補助ビームの設定手順を示すフローチャートである。

【0047】（ステップA1）初期値設定に要する受信信号の最初のPサンプルに対する、マルチビーム形成器7の出力信号 $y_1(k)$ 、 $y_2(k)$ 、 \dots 、 $y_I(k)$ の平均電力の、空間方向の分布を求め、そのピーク（極大値）を抽出する（SSA1-1）。SSA1-2で、極大値の数Mが1と判定された場合は、ステップA2へ進み、極大値の数Mが2以上の場合には、図3のステップA5へ分岐する。

【0048】（ステップA2）上述のように、極大値の数Mが1の場合、その極大値を与えるビーム方向近傍において、電力順に補助ビームの優先順位をつける。ここで選択する補助ビームは、想定される干渉波数より若干多い程度（実際には、3程度）とする。なお、このときの最大選択ビーム数を β とする。

【0049】（ステップA3）最初に、補助ビームを選択しない場合に対する、時刻 $k=0$ から $k=P-1$ における、アダプティブ・アレー・アンテナ出力信号電力を求める（SSA3-1、SSA3-4）。続いて、ステップA2で決めた優先順位に従い、補助ビーム選択数を1増やし（SSA3-5）、上記の荷重係数初期値設定器23aにおける荷重係数初期値の設定手順に従って（つまり、数8～数10により）、それぞれの補助ビーム選択数（SSA3-2で選択したもの）に対する荷重係数値を計算する（SSA3-3）。そして、時刻 $k=0$ から $k=P-1$ における、アダプティブ・アレー・アンテナ出力信号電力 $P_z(d)$ を求める（SSA3-4）。

【0050】SSA3-2に示すように、ビームを d 個選択したとして、そのビーム番号を $\{q_1, q_2, \dots, q_d\}$ 、このときの荷重係数の値を $w_{\sim 1}, w_{\sim 2}, \dots, w_{\sim d}$ とすると、アダプティブ・アレー・アンテナ出力信号電力 $P_z(d)$ は、以下の数11と数12より計算できる。なお、数12で、 $d=0$ は、ビームを何も選択しなかったことに相当する。

【0051】

【数11】

$$z(k) = y_0(k) - \sum_{n=1}^d \bar{w}_n y_{q_n}(k) \quad k=0,1,\dots,P-1$$

【0052】

【数12】

$$P_z(d) = \frac{1}{P} \sum_{k=0}^{P-1} |z(k)|^2 \quad d=0,1,2,\dots,\beta$$

【0053】（ステップA4）SSA3-6で、選択ビーム数 d が最大選択ビーム数 β を越えたと判断された場合、処理は本ステップへ移行する。このステップでは、

11

$d=0, 1, 2, \dots, \beta$ に対する、数12より求めた $P_z(d)$ の値の変化から、選択すべきビームを決める。つまり、選択ビーム数が足りないときは、 $P_z(d)$ には、ほとんど変化がないが、選択ビーム数が干渉波入射数と一致したときには、ビーム数が足りない場合に比べて、 $P_z(d)$ は急激に減少する。そして、選択ビーム数が干渉波入射数を越えると、 $P_z(d)$ は、ほとんど変化しなくなる。このことから、選択ビームを判定する。

【0054】補助ビーム出力信号電力の、空間方向の分布の極大値の数が1の場合は、上記ステップA4の後、補助ビームの選択手順を終了する。なお、この極大値の数が1の場合は、同時に荷重係数初期値 $w_b^{(0)}$ を求めていることになり、これを荷重係数制御器22における初期値として用いる。つまり、この場合、荷重係数初期値設定器23aで初期値を求め直す必要はない。

【0055】(ステップA5) 極大値の数が $M \geq 2$ のときには、図3に示す本処理ステップに入る。ここでは、それぞれの極大値を与えるビーム方向近傍において、電力順に補助ビームの優先順位を付ける。ここでの各極大点(極大値を与えるビーム方向)近傍における、選択する補助ビームは、その角度近傍で想定される入射干渉波数より若干多い程度で、実際には3程度とする。また、そのときの各極大点近傍における最大選択ビーム数を β_a とする。なお、 $m=1, 2, \dots, M$ である。

【0056】(ステップA6) 本ステップでは、最初に、何もビームを選択していない状態に対して、上記ステップA3と同様に、アダプティブ・アレー・アンテナ出力信号電力を求める。次に、1つの極大点(その番号を m とする)に着目する(SSA6-1)。それ以外の(m 以外の)極大点近傍では、ステップA5で決めたビームは、全て補助ビームを選択しておく。ただし、既に選択すべきビームが求まっている極大点近傍においては、それを選択する(SSA6-3)。

【0057】そして、番号 m 近傍で、1つずつ選択ビームを増やし(SSA6-6, SSA6-7)、それぞれの場合に対して、上記の数7～数10に従って、それぞれの補助ビーム選択数に対する荷重係数値を計算する(SSA6-4)。そして、時刻 $k=0$ から $k=P-1$ におけるアダプティブ・アレー・アンテナ出力信号電力 $P_z^*(d)$ を求める(SSA6-5)。ここで、 d は、極大点番号 m 近傍のビームについては、それを d 個選択し、それ以外の極大点近傍のビームは、全て選択しておいた状態であることに対応する。ただし、 $d=0$ は、何もビームを選択していない状態を意味する。なお、 $P_z^*(d)$ の肩文字 m は、極大点番号 m 近傍に注目していることを意味する。

【0058】(ステップA7) ここでは、 $P_z^*(0)$ 、 $P_z^*(1)$ 、 \dots 、 $P_z^*(\beta_a)$ の値から、極大点番号 m における選択ビームを決める(SSA7-1)。その決め

12

方は、上記ステップA4と同じである。そして、SSA7-2で m の値を1増やし、これらステップA6、ステップA7の操作を、補助ビーム出力電力の、空間方向の分布の極大値の数である M 回だけ繰り返す(SSA7-3)。

【0059】(ステップA8) ステップA6、ステップA7の操作を、補助ビーム出力電力の、空間方向の分布の極大値の数だけ繰り返すと、それぞれの極大点近傍で選択すべきビームが決まる。そこで、これらを全て集めたものが、全体で選択すべき補助ビームとなる。以上の処理で、補助ビームの選択手順が終了する。

【0060】このように、ここでは、1回の荷重係数更新に要する信号処理演算量が少ない、最急降下法に基づく適応アルゴリズムを用いて干渉波抑圧を行い、受信干渉波の数と同じ、入射方向に応じた最適値に近い荷重係数初期値を設定する。

【0061】以上説明したように、本実施の形態によれば、受信干渉波と同数の適切なビーム方向の補助ビームを選択し、最初の少数受信信号サンプルを利用してSM1法により荷重係数初期値を設定することで、2波以上の干渉波が近接して入射しても、最適値に近い初期値を設定でき、結果として、荷重係数を最適値に高速に到達させることが可能となる。つまり、干渉波抑圧特性を短時間で持たせる補助ビームを選択することにより、干渉波と同数の適切な補助ビームを選択でき、最適値に近い荷重係数初期値を設定可能となる。

【0062】実施の形態2。以下、本発明の実施の形態2に係る補助ビームの選択手順を説明する。なお、本実施の形態に係る干渉波抑圧装置の構成は、図1に示す、上記実施の形態1に係る装置と同じであるため、それらの構成および説明を省略するが、ここでは、ビーム形成器5の出力信号は利用しない。

【0063】図4、図5は、本実施の形態に係る選択ビーム設定器21aによる、選択補助ビーム設定手順を示すフローチャートである。

(ステップB1) 最初に、初期値設定に要する、受信信号の最初の P サンプルに対するマルチビーム形成器7の出力信号 $y_1(k)$ 、 $y_2(k)$ 、 \dots 、 $y_I(k)$ の平均電力の、空間方向の分布を求め、そのピーク(極大値)を抽出する。そして、極大値の数 M が1の場合はステップB2へ進み、極大値の数 M が2以上の場合には、図5のステップB5へ分岐する。なお、この操作は、上述した実施の形態1における補助ビーム選択手順の内、ステップA1(図2)と同じである。

【0064】(ステップB2) 極大値の数 M が $M=1$ の場合、その極大値を与えるビーム方向近傍において、電力順に補助ビームの優先順位を付ける。ここで選択する補助ビームは、想定される干渉波数より若干多い程度で、補助ビーム幅にもよるが、実際には、2～3程度とする。なお、このときの選択ビーム数を β とする。

13

【0065】(ステップB3) 選択したビーム出力信号に対して、上記数7の行列Aを構成する。ただし、数7で、 $B=\beta$ とする。そして、以下の数13に示すように、行列Aの特異値分解を行う。

【0066】

【数13】

$$A=USV^H$$

【0067】ここで、Uは、列ベクトルが正規直交する $P \times \beta$ 行列、Sは $\beta \times \beta$ 対角行列、Vは $\beta \times \beta$ の直交行列である。

【0068】行列Sの対角要素は、行列Aの特異値である。0でない特異値の数が、行列Aのランクである。選択器8の出力信号からなる相関行列は、 $A^H A$ で与えられ、そのランクは、雑音が存在しないときには干渉波の数に等しく、これはAのランクに等しい。つまり、行列Aの0でない特異値の数が、干渉波の入射数である。実際には、受信機雑音が存在するため、特異値が0になることはない。しかし、干渉波電力が雑音電力に比べて非常に大きいとき、特異値のオーダーにかなりの差が生ずる。よって、その場合は、小さい特異値を無視し、大きい特異値の数を干渉波の数と判断する。

【0069】(ステップB4) このステップでは、上記のステップB2で選択した β 個のビームの中から、その優先順に、ステップB3で判断した干渉波の個数分のビームを選択する。つまり、行列Aの特異値から干渉波数を判断し、上記優先順に干渉波の数だけ、補助ビームを選択して、本ビーム選択手順を終了する。

【0070】(ステップB5) 一方、極大値の数Mが $M \geq 2$ の場合、図5に示す本ステップで、それぞれの極大値を与えるビーム方向近傍において、電力順に補助ビームの優先順位を付ける。ここでの各極大点(極大値を与えるビーム方向)近傍において選択する補助ビームは、その角度近傍で想定される入射干渉波数より若干多い程度で、実際は2〜3程度とする。また、そのときの各極大点近傍における選択ビーム数を β_m とする。なお、ここで、 $m=1, 2, \dots, M$ である。

【0071】(ステップB6) 1つの極大点(番号m)に着目し、その極大点近傍で選択した信号に対して、上記ステップB3とステップB4と同様の操作を行う。ただし、ステップB3に相当するSSB6-2では、 β の代わりに β_m と置く。すなわち、行列Aの特異値から干渉波数を判断し、上記優先順に干渉波の数だけ補助ビームを選択する。これにより、極大点m近傍において選択すべき補助ビームが決まる(SSB6-3)。そして、SSB6-4で、mの値を1増やし、続くSSB6-5で、mがMを越えると判断されるまで、上記の操作をそれぞれの極大点で繰り返す(つまり、合計M回、繰り返す)。

【0072】(ステップB7) それぞれの極大点近傍で決めた選択ビームを集めて、選択すべき補助ビームを決

14

定し、本処理を終了する。

【0073】以上説明したように、本実施の形態によれば、干渉波の個数分のビームを選択する、つまり、所定の行列を特異値分解して得た結果より干渉波数を判断し、優先順に干渉波の数だけ補助ビームを選択することにより、干渉波と同数の適切な補助ビームを選択することができ、最適値に近い荷重係数初期値を設定することが可能となる。

【0074】なお、上記実施の形態2では、数7の行列A(ただし、 $B=\beta$ 、もしくは $B=\beta_m$)に対して特異値分解を行っているが、これに限定されるものではない。すなわち、相関行列 $A^H A$ に対して固有値を計算し、実施の形態2における特異値の代わりに、 $A^H A$ の固有値で選択ビームを決定するようにしてもよい。なお、この場合、 $A^H A$ の固有値は、Aの特異値の二乗に等しいので、干渉波数の判断基準は、実施の形態2と同じでよい。

【0075】実施の形態3. 以下、本発明に係る実施の形態3について説明する。図6は、本実施の形態に係る干渉波抑圧装置の構成を示すブロック図である。なお、同図に示す装置は、選択ビーム設定器21bと荷重係数初期値設定器23b以外は、図1に示す、上記実施の形態1に係る装置と同じであるため、ここでは、同一構成要素の動作説明を省略する。従って、以下では、選択ビーム設定器21bと荷重係数初期値設定器23bの動作を中心に説明する。

【0076】図6の選択ビーム設定器21b(その動作は、選択器8における信号の選択(補助ビームとしてのマルチビームの選択手順)である)は、干渉波入射方向近傍の干渉波と同数以上の補助ビームを選択するように設定する。これは、実施の形態1、2に係る装置における選択ビーム設定器21aでの設定手順より簡単である。

【0077】選択ビーム設定器21bは、初期値設定に要する受信信号の最初のPサンプル(もしくは、それ以下のサンプル数)に対する、マルチビーム形成器7の出力信号 $y_1(k)$ 、 $y_2(k)$ 、 \dots 、 $y_I(k)$ の平均電力の、空間方向の分布を求め、そのピーク(極大値)を抽出する。そして、各極大値近傍において、そのビーム方向近傍から入射すると想定される干渉波数と同数か、それよりわずかに多くの補助ビームを選択して、その手順を完了する。

【0078】次に、荷重係数初期値設定器23bの動作について説明する。この荷重係数初期値設定器23bは、ビーム形成器5の出力信号と選択器8の出力信号からなる、数7で示される行列Aと数8で示されるベクトルaに対して、数14で示す値を最小にし、かつ、自身の二乗ノルムの値が最小となる荷重ベクトル $W^{(0)}$ を、公知の特異値分解法を利用して計算し、その結果を荷重係数初期値とする。

15

【0079】

【数14】

$$\|AW^{(0)} - a\|^2$$

【0080】具体的な手順は、以下の通りである。すなわち、行列Aを、数15のように特異値分解する。

【0081】

【数15】

$$A=USV^H$$

【0082】ここで、Uは、列ベクトルが正規直交する $P \times B$ 行列、Sは $B \times B$ 対角行列、Vは $B \times B$ の直交行列である。

【0083】上記行列Sの対角要素は、行列Aの特異値である。0でない特異値の数が、行列Aのランクである。図6の選択器8の出力信号からなる相関行列は、 $A^H A$ で与えられ、そのランクは、雑音が存在しないときには、干渉波の数に等しく、それはAのランクに等しい。つまり、行列Aの0でない特異値の数が、干渉波の入射数である。実際には、受信機雑音が存在するため、特異値が0になることはない。しかし、干渉波電力が雑音電力に比べて非常に大きいとき、特異値のオーダにかなりの差が生ずる。よって、小さい特異値を無視した、大きい特異値の数が干渉波の数である。

【0084】以下の数16の示すサイズが、 $B \times 1$ のベクトル α を計算する。また、数17に示すように、ベクトル c を定義する。この時点でベクトル c は、未知である。

【0085】

【数16】

$$\alpha = U^H a$$

【0086】

【数17】

$$c = V^H W^{(0)}$$

【0087】上記の数17の $B \times 1$ ベクトル c は、以下の手順で作られる。すなわち、 $b = 1, 2, \dots, B$ に対して、 $[S]_{bb}$ の値が、オーダの大きな特異値に対して無視できないときは、 $[c]_b = [\alpha]_b / [S]_{bb}$ 、それが無視できるときは $[c]_b = 0$ とする。このようにすることによって、ベクトル c は、近似的に連立方程式 $S c = \alpha$ の最小二乗最小ノルム解となっている。

【0088】上述のように、行列Vが直交なので、数17より、目的とする荷重ベクトル $W^{(0)}$ は、行列Vとベクトル c とから、数18で求めることができる。ここでは、これを荷重初期値として、荷重係数制御器22へ出力する。

【0089】

【数18】

$$W^{(0)} = V c$$

【0090】以上説明したように、本実施の形態によれば、選択ビーム設定器を、干渉波入射方向近傍の干渉波

16

と同数以上の補助ビームを選択するよう設定し、荷重係数初期値設定器によって、特異値分解法を用いて荷重ベクトルを計算することにより、干渉波の数より選択器での信号選択数が多くなっても、最適値に近い荷重係数初期値を求めることができ、荷重係数 $w_b^{(k)}$ を高速に最適値に収束させることが可能となる。

【0091】実施の形態4. 以下、本発明に係る実施の形態4について説明する。図7は、本実施の形態に係る干渉波抑圧装置の構成を示すブロック図である。なお、同図において、図6に示す、上記実施の形態3に係る装置と同一構成要素には同一符号を付し、ここでは、それらの説明を省略する。

【0092】図7に示す干渉波抑圧装置は、ベースバンド・デジタル同相・直交信号 $x_n(k)$ の $n = 1, 2, \dots, N$ の全て、あるいは一部を用いて干渉波入射数（これをBとする）と方向を推定する干渉波入射方向推定器30、この干渉波入射方向推定器30による干渉波数と入射方向推定結果とに基づいて干渉波入射方向にビームを形成する補助ビーム形成器31-b ($b = 1, 2, \dots, B$) を有する。ここでの干渉波数と入射方向の推定には、例えば、ブルックナ (Brookner) およびハウエル (Howell) による、「Adaptive-adaptive array processing」(1986年4月、Proceedings of the IEEE、第74巻、No. 4、第602頁～第604頁) に記載されているように、空間方向FFT、最大エントロピー法、MUSIC (Multiple Signal Classification) 法等を使用できる。

【0093】補助ビーム形成器31-bの出力を $y_1(k), y_2(k), \dots, y_B(k)$ とすると、ここでは、上述した適応アルゴリズムと同様なアルゴリズムによって荷重係数 $w_1^{(k)}, w_2^{(k)}, \dots, w_B^{(k)}$ を制御し、その結果、干渉波を抑圧する。なお、適応アルゴリズムは、上述の学習同定法に限定されるものではない。荷重係数初期値 $w_b^{(0)}$ の設定手順は、上記実施の形態3と同様である。また、数7については、 $y_{rb}(k)$ を補助ビーム31-bの出力信号 $y_b(k)$ ($b = 1, 2, \dots, B$) で置き換える。ここで言えるのは、上記文献1に記載された荷重係数初期値ベクトル設定法を本実施の形態に適用しても、複数の干渉波が近接している場合には、初期値設定の効果がなく、その収束を速めることはできない、ということである。

【0094】このように、本実施の形態によれば、干渉波数と入射方向の推定を行い、その結果に基づいて干渉波入射方向にビームを形成することで、複数の近接干渉波が存在して、ある補助ビームに他の干渉波が漏れこんでいる場合でも、荷重係数を高速に収束できる。

【0095】

【実施例】以下、上記実施の形態1～3に係る実施例を

17

説明する。ここでは、計算機シミュレーションによる、上記実施の形態に係る干渉波抑圧装置の有効性を示す。実施例1. 上記実施の形態1に対応する実施例を以下に示す。ここでは、64素子の、半波長間隔に直線状に配置されたアレーアンテナを想定する。所望波（1素子あたりの信号対雑音電力比SNR=5dB）は、アレーアンテナの正面方向（ $\theta=0^\circ$ ）から入射するものとする。ビーム形成器5は、 $\theta=0^\circ$ にビームを向けている。また、干渉波は3波入射し、その方向は、それぞれ $\theta=10^\circ$ （1素子あたりの干渉対雑音電力比INR=45dB）、 $\theta=12^\circ$ （1素子あたりのINR=35dB）、 $\theta=-25^\circ$ （1素子あたりのINR=40dB）である。マルチビーム（補助ビーム）形成には、高速フーリエ変換を用い、その高速フーリエ変換を行う前にHanning窓をかけている。

【0096】まず、選択すべき補助ビームを決める。上述のステップA1（図2）に従って、マルチビーム形成器7の出力信号平均電力の空間方向の分布を求める。その分布を、図8に示す。同図において、横軸のビーム番号は、 0° 方向ビームを1番（以下、#1と記す）として、アレーアンテナから見て右の方向に $\theta=90^\circ$ まではビーム番号を増やしている。 $\theta=\pm90^\circ$ ビームを#33とし、それを境に、 $\theta=-90^\circ$ から正面に近くなるにつれて、ビーム番号を増やしている。#64ビームは、約 -2° 方向のビームである。図8に示す分布では、信号サンプルは、最初の10サンプル（ $P=10$ ）を用いた。また、図8には、極大値が2箇所ある（ $M=2$ ）ので、処理は、図3のステップA5へ進む。

【0097】ステップA5に従って、図8の各極大点近傍で、電力順に補助ビームに優先順位をつける。すなわち、#7近傍では、#7、#6、#8の順（ $\beta_1=3$ ）に、#51近傍では、#51、#52、#50の順（ $\beta_2=3$ ）に優先順位を付ける。

【0098】ステップA6に従い、何もビームを選択していない状態で、アダプティブ・アレー・アンテナ出力信号電力を求める。次に、#7の極大点近傍に注目する。また、他方の極大点#51近傍の#51、#52、#50を全て選択しておき、#7、#6、#8の順に選択ビームを増やし、各々の場合に対して、荷重係数を求めてから、アダプティブ・アレー・アンテナ出力信号電力を求める。つまり、選択ビームが（#51、#52、#50、#7）、（#51、#52、#50、#7、#6）、（#51、#52、#50、#7、#6、#8）の3つの場合に対して荷重係数を求めてから、アダプティブ・アレー・アンテナ出力信号電力を求める。

【0099】以上の電力値を記すと、何も選択していない状態から順に、

117.6 20.93 2.30 1.39
となる。#51、#52、#50以外に、#7と#6のビームを選択したときに電力が大きく減少し（20.9

18

3→2.30）、それ以降は、電力の減少が小さいので、ステップA7（ステップA4）により、#7近傍で選択すべきビームは、#7と#6と判定する。

【0100】次に、#51の極大点近傍に注目する。他方の、既に決まっているビーム#7と#6を選択しておき、#51、#52、#50の順に選択ビームを増やし、各々の場合に対して荷重係数を求めてから、アダプティブ・アレー・アンテナ出力信号電力を求める。つまり、選択ビームが（#7、#6、#51）、（#7、#6、#51、#52）、（#7、#6、#51、#52、#50）の3つの場合に対して荷重係数を求めてから、アダプティブ・アレー・アンテナ出力信号電力を求める。なお、何もビームを選択していない状態での電力は、上記のように、すでに求められている。

【0101】そこで、以上の電力値を記すと、何も選択していない状態から順に、

117.6 3.30 2.67 2.30
となる。#7と#6以外に、#51を選択したときに電力が大きく減少し、それ以降は、電力の減少が小さいので、#52近傍で選択すべきビームは、#51と判定する。

【0102】以上の過程より、選択すべき補助ビームは、#7、#6、#51の3つになる。そして、選択補助ビームを#7、#6、#51として、改めて数7～数10により荷重係数初期値を計算し、それを初期値として、数1の学習同定法により荷重係数の更新を行った。数1において $\alpha=0.2$ である。そのときの荷重係数更新回数に対する信号対干渉信号雑音電力比の改善量（インプルーブメント・ファクタ：単位はdB）を、図9に示す。なお、図9には、併せて、文献1による方法と、荷重係数初期値を0ベクトルとした場合の収束特性も示す。いずれも、選択した補助ビームは、同じく#7、#6、#51の3つとした。

【0103】最初の10サンプルを荷重初期値設定に使用したため、本実施例に係る方法と文献1による方法では、その間の荷重係数値を0ベクトルとした。本実施例による荷重係数初期値設定手順では、次の1サンプルが入力されるまでには完了せず、およそ十数サンプル分の時間がかかると推定されるが、それを考慮しても、図9からは、荷重係数が極めて短時間に収束していることが分かる。また、文献1による方法は、干渉波が近接して入射し、1つの補助ビーム内に1干渉波という前提条件がくずれると、荷重係数初期値設定によって収束に達するまでの時間を短縮することができなくなることが分かる。

【0104】実施例2. 上記実施の形態2に係る補助ビーム選択について、その実施例を示す。ここでの条件は、実施例1と全く同一である。すなわち、ステップB1（図4）は、実施の形態1に係る補助ビーム選択手順の内、ステップA1と同じである。そして、図8に示す

19

ように、極大値が2箇所あるので、処理は、図5のステップB5へ進む。

【0105】そこで、ステップB5に従い、図8の各極大点近傍で、電力順に補助ビームに優先順位を付ける。#7近傍では3つ選択して、#7、#6、#8の順に($\beta_1=3$)、また、#51近傍では2つ選択して、#51、#52の順($\beta_2=2$)に優先順位を付ける。なお、ここでは、#53は、その電力が小さいので選択しない。

【0106】次に、ステップB6に従い、図8において左側に位置する極大点(#7近傍)に注目し、#7、#6、#8を選択した状態で、数7の行列Aを構成する。ここで、 $B=\beta_1=3$ である。そして、この行列Aの特異値分解を行う。その結果、行列Aの特異値は、大きさの順に、

351.9 82.20 0.0654

のようになった。

【0107】得られた特異値の内、3つ目の特異値が、他の2つに比べて非常に小さいので、無視し得ると判断し、#7近傍では、干渉波が2波入射していると判定する。従って、#7、#6、#8の内、電力が上位の2ビーム、すなわち、#7と#6を選択する。

【0108】次に、図8の右側の極大点(#51)に注目する。つまり、#51、#52を選択して、数7の行列Aを構成する。ここで、 $B=\beta_2=2$ である。そして、行列Aの特異値分解を行う。得られた行列Aの特異値は、その大きさの順に、

191.8 0.140

のようになった。

【0109】上記2つの特異値の大きさには、大きな差があるので、2つ目の特異値は、無視し得ると判断し、#51近傍では、干渉波が1波入射していると判定する。従って、#51、#52の中から、電力が上位の1ビーム、つまり、#51を選択する。

【0110】このように、本実施例においても、選択ビームは、#7、#6、#51となった。実施例1と同じ選択結果を得たので、その収束特性は、図9に示す特性と同じになる(図中、「実施例1、2」と記した特性)。

【0111】実施例3。ここでは、実施例1と同じ電波環境で、同じマルチビームを形成し、計算機シミュレーションによって、上記実施の形態3に係る干渉波抑圧装置の有効性を示す。なお、荷重係数初期値設定に用いるサンプル数Pは、実施例1と同じく10とする。

【0112】図8に示す、マルチビーム形成器の出力信号平均電力の、空間方向の分布から、1つ目の極大点近傍では、選択する補助ビーム番号を#7、#6、#8、2つ目の極大点近傍では、選択する補助ビーム番号を#51、#52とする。なお、これらの順位は気にしないでよい。また、選択補助ビーム数は、 $B=5$ である。

20

【0113】次に、数7で示す行列Aを作り、数15のように特異値分解する。行列Sの対角要素の値は、(1,1)要素から(5,5)要素まで、順に以下のようになった。

351.9 191.7 82.2 0.116
0.051

これらの内、最初から3つまでの特異値が、4つ目と5つ目の特異値に比べて、かなり値が大きい。よって、干渉波入射数は、3と判断できる。ただし、どの方向に、いくつ入射しているかは、これだけでは判別できない。

【0114】数16のベクトル α を計算し、以下の数19に示すベクトル c の各要素を計算する。

【0115】

【数19】

$$[c]_i = \begin{cases} [\alpha]_i / [S]_{ii} & i=1,2,3 \\ 0 & i=4,5 \end{cases}$$

【0116】そして、数18により荷重初期値を計算する。ここでは、その値を荷重係数初期値として、実施例1と同じように、荷重係数更新を行った。荷重係数更新回数に対する信号対干渉信号雑音電力比の改善量(インプルーブメント・ファクタ:単位はdB)を、図10に示す。なお、図10には、文献1による方法と、荷重係数初期値を0ベクトルとした場合の収束特性も示す。いずれも、選択した補助ビームは、同じく#7、#6、#8、#51、#52の5つとした。

【0117】本実施例による荷重係数初期値設定手順においても、次の1サンプルが入力されるまでには、それが完了せず、約十数サンプル分の時間がかかると推定される。しかし、それを考慮しても、図10より、荷重係数が極めて短時間に収束していることが分かる。また、選択器8での信号選択数が干渉波数を上回っていても、収束が速いことが分かる。

【0118】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、マルチビームに対応する複数の信号より、補助ビームとして選択した所定数の信号と、所定方向のビームに対応する信号とに基づいて荷重係数の初期値を設定し、受信干渉波と同数の補助ビームを選択することで、2波以上の干渉波が近接して入射しても、最適値に近い初期値を設定でき、荷重係数を最適値に到達させることが可能となり、干渉波抑圧特性を短時間で達成できる、という効果がある。

【0119】また、他の発明によれば、マルチビームに対応する複数の信号とその平均電力の空間分布をもとに、干渉波の数を特定し、干渉波の数と同数あるいはそれ以上の数の信号を、これら複数の信号より選択することで、2つ以上の干渉波が近接して到来したり、補助ビーム幅が広い場合にも、確実に補助ビーム選択が行え、最適値に近い荷重係数の初期値設定を行うことができ

る。

【0120】また、他の発明によれば、適応アルゴリズムとして、最初に受信した所定数の信号サンプルについて、所定方向のビームに対応する信号と選択された所定数の信号とに基づく連立方程式の解をもとに荷重係数の初期値を設定し、荷重係数を更新するアルゴリズムを使用することで、確実に最適値に近い初期値を設定することが可能となり、短時間で干渉波抑圧特性を達成できる。

【0121】他の発明によれば、さらに、マルチビーム10に対応する複数の信号からなる所定の行列の特異値分解を行い、その特異値の数を干渉波の数とすることで、荷重係数の初期値を最適値に近似できるとともに、容易に干渉波の数を特定できる。

【0122】また、他の発明によれば、荷重係数の初期値を、最初に受信した所定数の信号サンプルについての連立方程式の解をもとに設定し、この設定された初期値に基づいて荷重係数を更新するとともに、この荷重係数の初期値ベクトルのノルムが最小となるように初期値を設定するアルゴリズムを使用することで、短時間で干渉波抑圧特性を達成でき、荷重係数が収束した後の指向特性において、主ビーム以外でゲインが大きくなること20がない。

【0123】さらに他の発明によれば、複数のデジタル同相・直交信号の全て、あるいは一部を用いて、干渉波の数とその入射方向を推定し、その入射方向各々に対してビームを形成して、補助ビーム出力における最初の所定数の受信信号サンプルについて特異値分解法により荷重係数の初期値を設定することで、2波以上の干渉波が近接して入射しても、最適値に近い初期値を設定でき、結果として、荷重係数を最適値に非常に高速に到達させて、干渉波抑制特性を短時間で持たせることが可能となる。また、この特異値分解法で得られた初期値は、最小ノルム解であるため、収束後の指向特性において主ビーム以外でゲインが大きくなることがない。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施の形態1に係る干渉波抑圧装置

の構成を示すブロック図である。

【図2】 実施の形態1に係る選択ビーム設定器21aによる、選択補助ビームの設定手順の一部を示すフローチャートである。

【図3】 実施の形態1に係る選択ビーム設定器21aによる、選択補助ビームの設定手順の一部を示すフローチャートである。

【図4】 本発明の実施の形態2に係る選択ビーム設定器21aによる、選択補助ビーム設定手順の一部を示すフローチャートである。

【図5】 実施の形態2に係る選択ビーム設定器21aによる、選択補助ビーム設定手順の一部を示すフローチャートである。

【図6】 本発明の実施の形態3に係る干渉波抑圧装置の構成を示すブロック図である。

【図7】 本発明の実施の形態4に係る干渉波抑圧装置の構成を示すブロック図である。

【図8】 本発明に係る実施例1におけるマルチビーム形成器の出力信号電力の、空間方向の分布を示す図である。

【図9】 実施例1、2における、実施の形態1、2に係る干渉波抑圧装置の収束特性を示す図である。

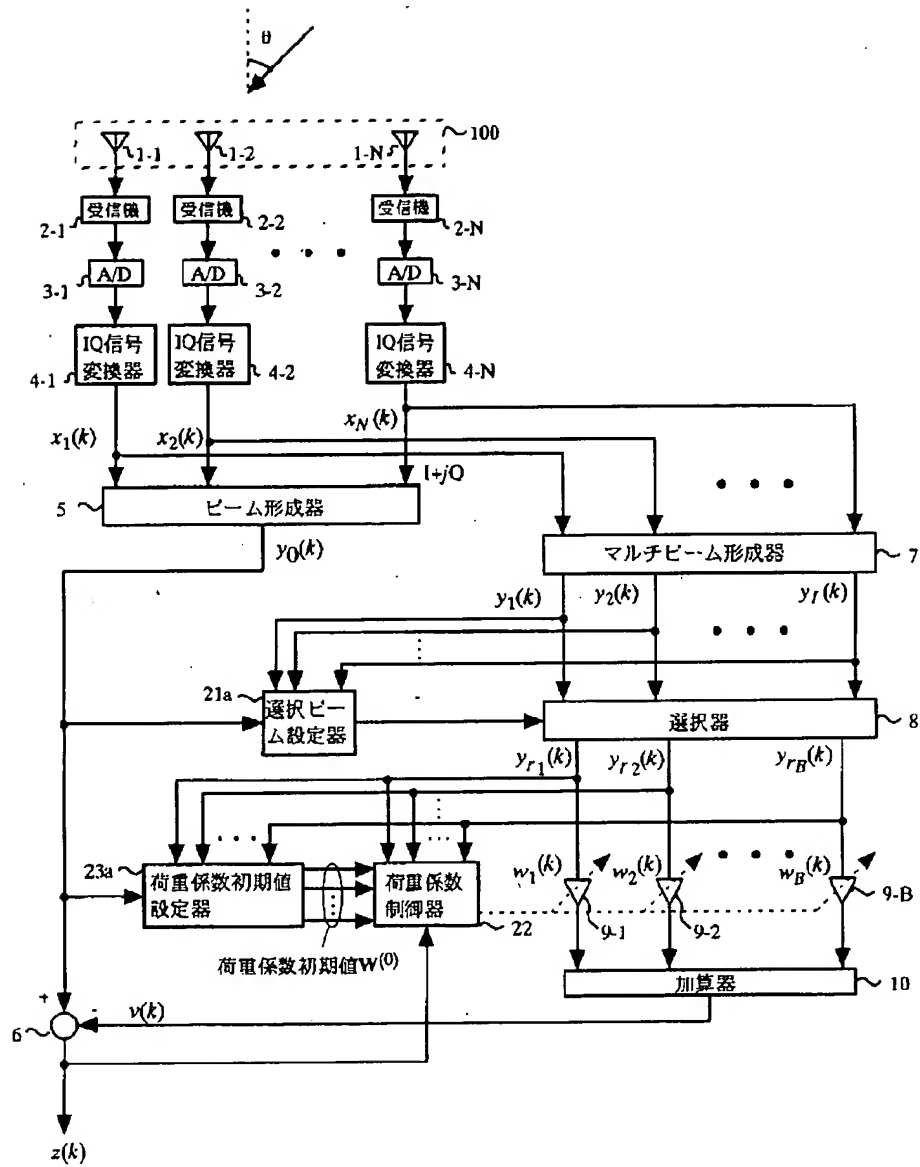
【図10】 実施例3における、実施の形態3に係る干渉波抑圧装置の収束特性を示す図である。

【図11】 従来の干渉波抑圧装置の構成を示すブロック図である。

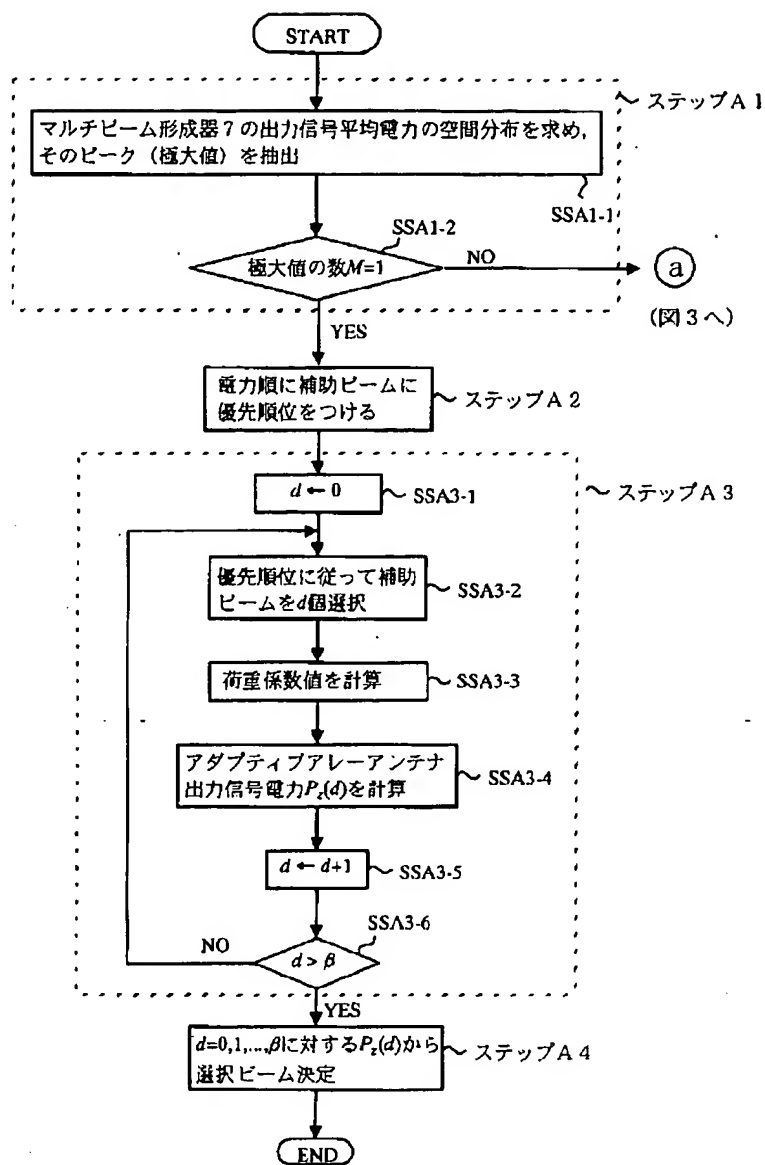
【符号の説明】

1-1~1-N…アンテナ素子、2-1~2-N…受信機、3-1~3-N…A/D変換器、4-1~4-N…IQ信号変換器、5…ビーム形成器、6…減算器、7…マルチビーム形成器、8…選択器、9-1~9-B…乗算器、10…加算器、11…高速フーリエ変換器、21a、21b…選択ビーム設定器、22…荷重係数制御器、23a、23b、24…荷重係数初期値設定器、30…干渉波入射方向推定器、31-1~31-B…補助ビーム形成器

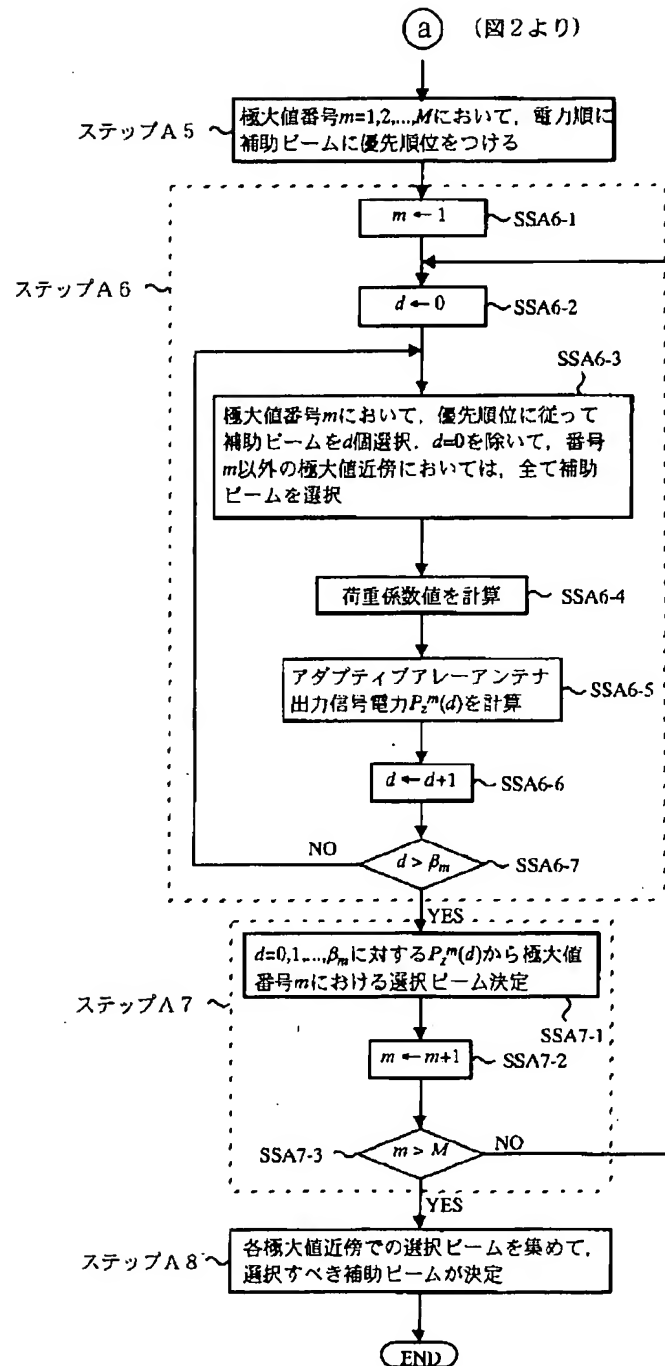
【図1】



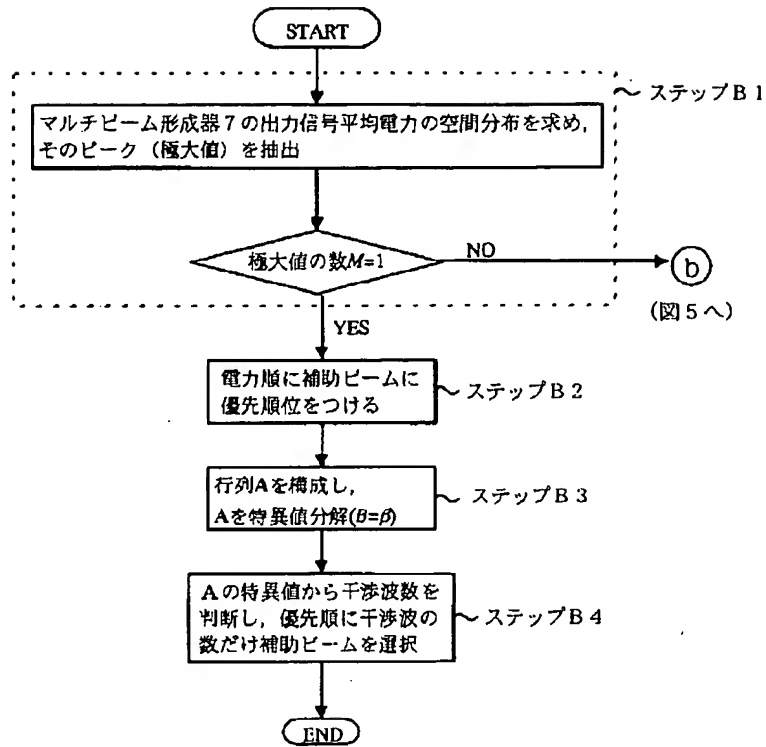
【図2】



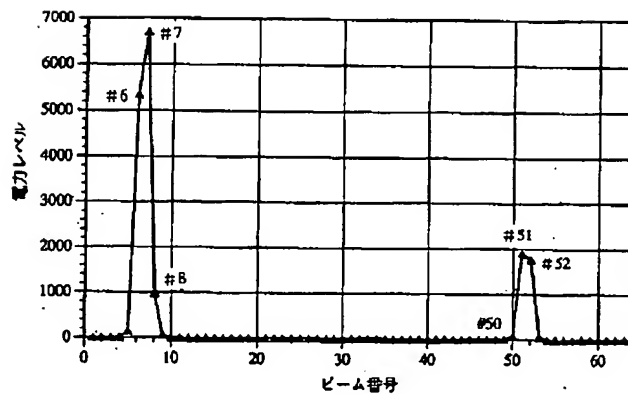
【図3】



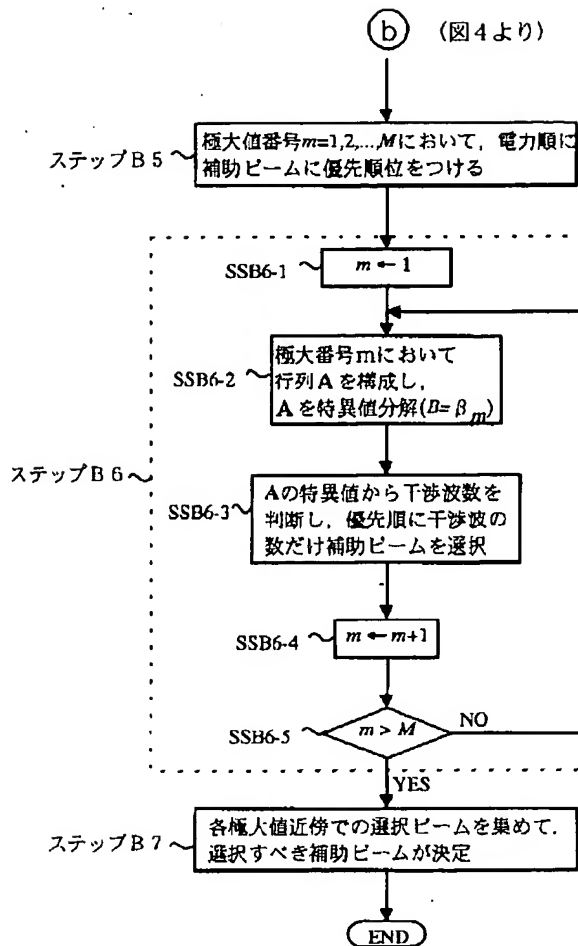
【図4】



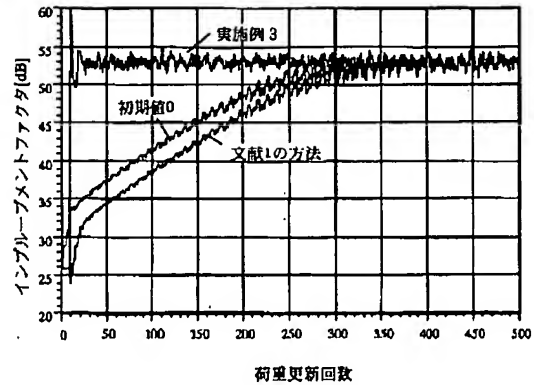
【図8】



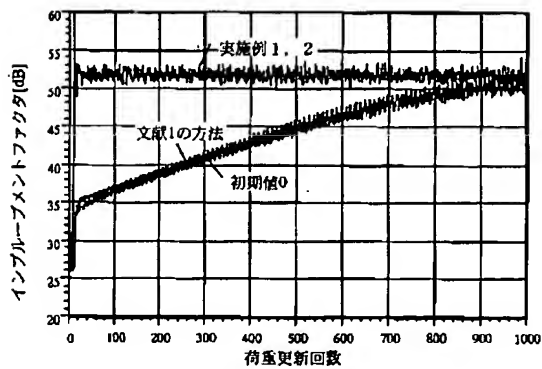
【図5】



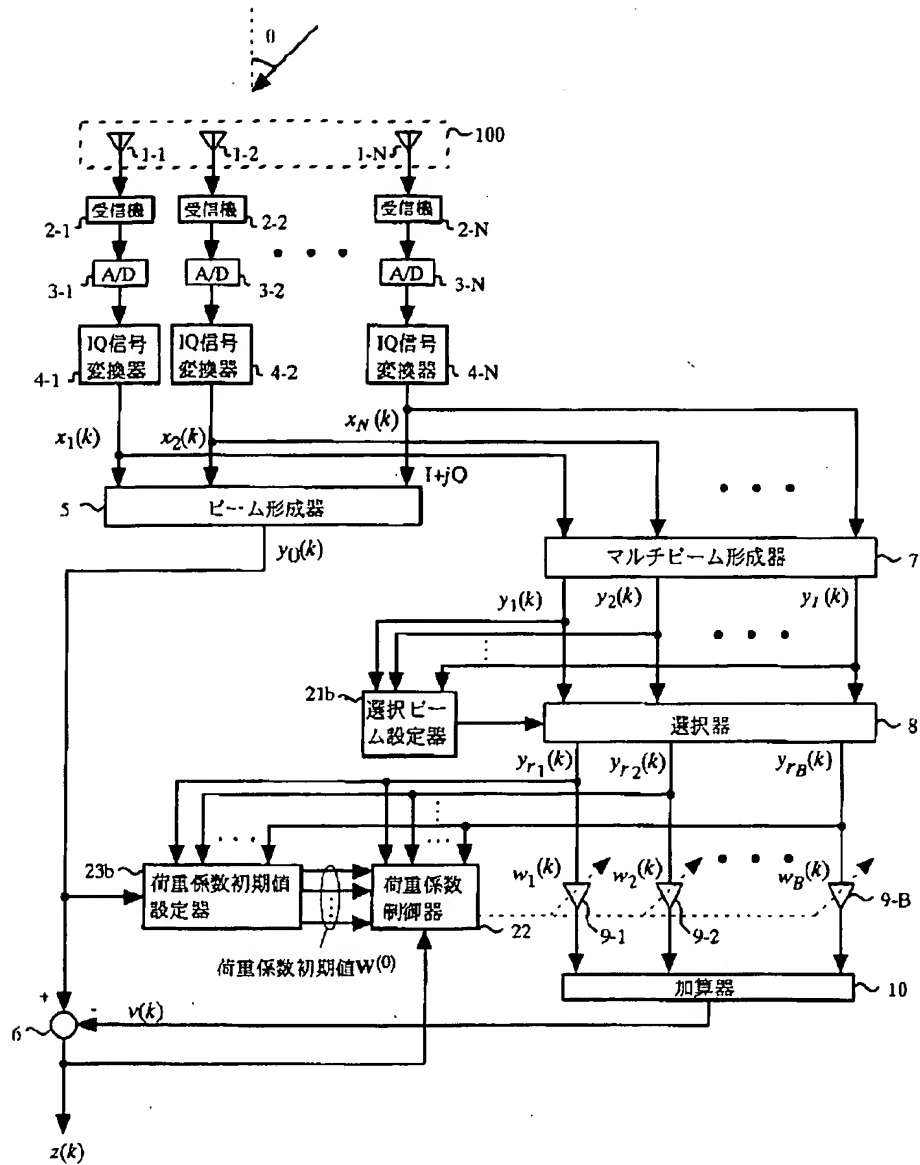
【図10】



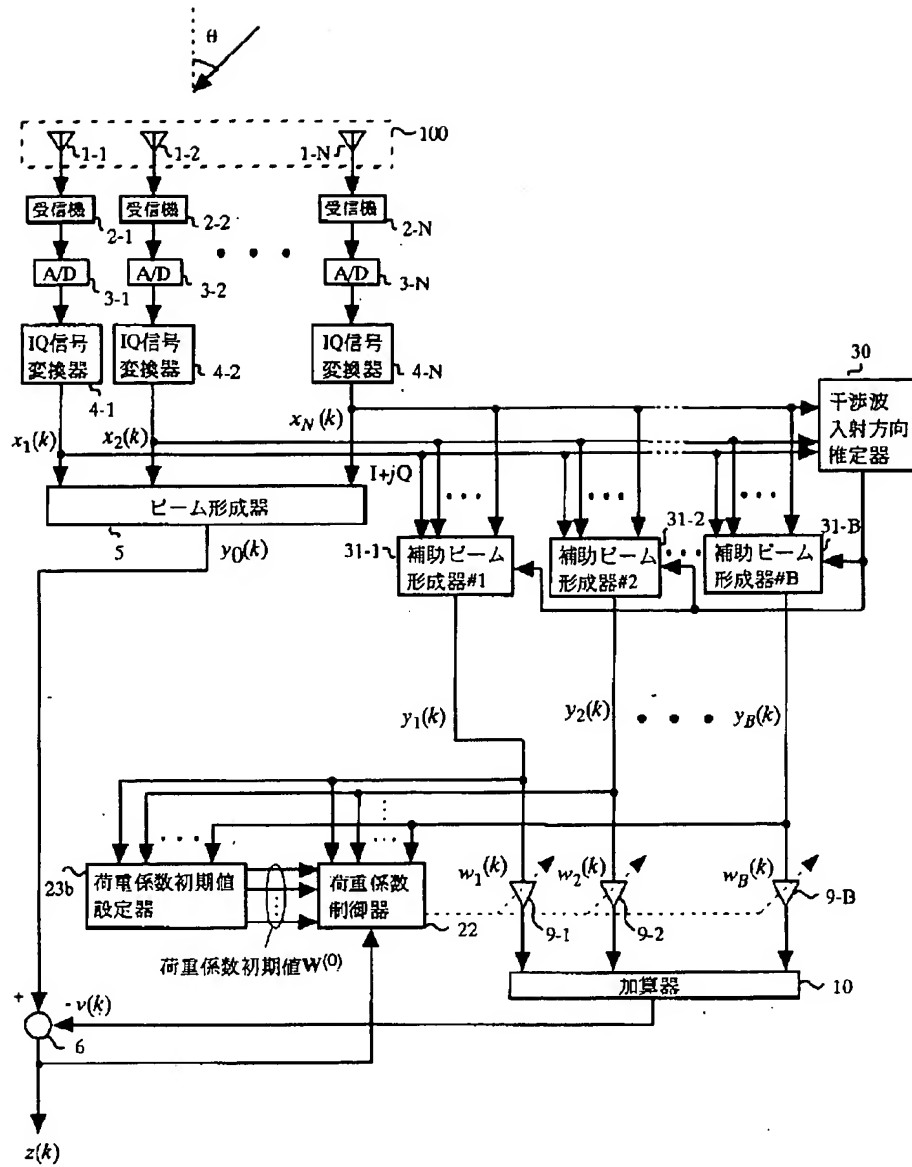
【図9】



【図6】



【図7】



【図11】

